

Josefine Neuhaus¹
Julia Hofmann¹
Larissa Hahn¹
Andreas Müller²
Pascal Klein¹

¹Universität Göttingen
²Universität Genf

Multiple Repräsentationen bei Aufgaben zum Formelverständnis: Eine Eye-Tracking-Studie

Motivation

Die Fähigkeit sich Zusammenhänge mithilfe verschiedener Repräsentationen zu erschließen ist grundlegend in vielen (naturwissenschaftlichen) Kontexten. Neben der Fähigkeit einzelne Repräsentationen lesen und Informationen aus verschiedenen Repräsentationen integrieren zu können, impliziert dies auch eine sinnvolle Selektion geeigneter Repräsentationen, um eine gesuchte Information zu erhalten (van Heuvelen, 1991; Rau, 2009). Die in diesem Beitrag dargestellte Studie befasst sich mit derartigen Selektionsprozessen von 37 Studierenden im Umgang mit piktorischen und formelhaften Repräsentationen bei der Aufgabenbearbeitung. Die Aufgaben adressierten hierbei Folgen von Veränderungen am physikalischen System und enthielten somit eine dynamische Komponente, die eine mentale Manipulation der Repräsentationen erforderte und nicht direkt aus den Repräsentationen abgelesen werden konnte. Die Augenbewegungen der Studierenden erlauben Einblicke in ihre Vorgehensweisen.

Theoretische Einordnung

Der Umgang von Studierenden mit unterschiedlichen Repräsentationen in physikalischen Kontexten zur Aufgabenbearbeitung wurde insbesondere in Bezug auf Diagramme, Skizzen und Texte untersucht. Hierbei zeigten sich aufgaben- und kontextabhängige Performanz- und Präferenzunterschiede der Repräsentationen und es konnte keine dominante Repräsentation in Bezug auf Performanz oder Präferenz ausgemacht werden (de Cock, 2012; Meltzer, 2005; Nieminen et al., 2010; Kohl & Finkelstein, 2005; Susac et al., 2023). De Cock konstatierte, dass Studierende bei einer schriftlichen Bearbeitung von Aufgaben häufig Formeln als ergänzende Repräsentation selbstständig hinzufügten. Selektionsprozesse unter expliziter Berücksichtigung auch formelhafter Repräsentationen nahmen Wu und Liu (2021) in den Blick. Sie beobachteten eine stärkere Fokussierung auf die Formel und eine höhere Anzahl an Transitionen zwischen Repräsentationen bei Studierenden mit höherem Vorwissen, was die Autor:innen mit einer höheren Flexibilität der Studierenden interpretieren.

Der geringen Beachtung von Formeln bei der Aufgabenbearbeitung in Eye-Tracking-Studien steht deren Relevanz in naturwissenschaftlichen Kontexten entgegen. Über die reine Nutzung als mathematische Werkzeuge hinaus dienen sie der Beschreibung von Modellen und der Beschreibung von Zusammenhängen. In Aufgabenkontexten wird daher häufig eine Manipulation der Formel thematisiert (Andrá et al., 2015), um ein tieferes Verständnis in das physikalische Modell zu erhalten. Um die Forschungslücke zu adressieren, wird in dieser Studie der Umgang von Studierenden mit formelhaften und piktorischen Darstellungen eines physikalischen Zusammenhangs während der Aufgabenbearbeitung untersucht.

Leitfrage

Wie nutzen Physikstudierende piktorielle und formelhafte Repräsentationen bei Aufgaben, die mentale Manipulationen erfordern? Hängen die Bearbeitungsmuster von inhaltlichen Spezifika der Aufgaben ab?

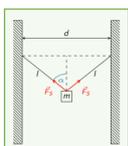
Stichprobe & Studiendesign

Um diese Fragen zu beantworten, wurde im Sommersemester 2024 eine Studie mit 37 Physikstudierenden (B.Sc., M.Sc., Lehramt; 20.8 ± 2.1 Jahre) durchgeführt.

Die Proband:innen beurteilten 11 Aussagen zu einem gleichbleibenden physikalischen Kontext in Bezug auf ihre Korrektheit. Die Aufgaben thematisierten die auf zwei Seile wirkende Kraft, wenn diese eine Straßenlaterne zwischen zwei Wänden halten. Die Aussagen betrafen je das Grenz-, Spezialfall- oder Kovariationsverhalten. Hierbei wurde die Abhängigkeit zwischen der Kraft und einer bzw. zwei weiteren Variablen, bzw. die Interdependenz zweier Variablen thematisiert. Zwei Beispielaufgaben sind in *Abb. 1a und 1b* dargestellt (Farben nachträglich eingefügt). Die Darstellung der 11 Aufgaben unterschied sich nur in Bezug auf die in *Abb. 1* gelb unterlegten Aussage. Wie dargestellt wurden den Proband:innen zur Bearbeitung der Aufgaben zwei inhaltlich äquivalente verbale (Formeln), sowie eine visuelle Repräsentation (Skizze) bereitgestellt, wobei die Position der Repräsentationen zwischen den Aufgaben nicht verändert wurde und den Proband:innen aus den der Erhebung vorgeschalteten Beispielaufgaben bekannt war. In beiden Repräsentationsformen wurden dieselben Variablen und Variablennamen verwendet, wobei die Skizze alle Variablen in Beziehung setzt, die Formeln sich jedoch dahingehend unterscheiden, welche Variablenrelation expliziert wird.

a) Beurteilen Sie die Richtigkeit der Aussage. Zur Antworteingabe drücken Sie LEERTASTE.

Je kleiner der Winkel, desto geringer die Seilkraft.

$$|F_S| = \frac{m \cdot g}{2 \cos \alpha}$$
$$|F_S| = \frac{m \cdot g \cdot l}{2 \sqrt{l^2 - (\frac{d}{2})^2}}$$


b) Beurteilen Sie die Richtigkeit der Aussage. Zur Antworteingabe drücken Sie LEERTASTE.

Je länger die Seile, desto größer die Seilkraft.

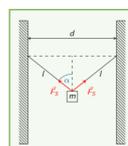
$$|F_S| = \frac{m \cdot g}{2 \cos \alpha}$$
$$|F_S| = \frac{m \cdot g \cdot l}{2 \sqrt{l^2 - (\frac{d}{2})^2}}$$


Abb. 1 Beispielaufgaben und Definitionen der AOIs:

Blau: Formel; Dunkelblau: Formel 1; Hellblau: Formel 2; Grün: Skizze; Gelb: Aussage.

Während der Aufgabenbearbeitung wurden die Blickdaten der Studierenden mit einem stationären Eye-Tracker (Tobii Pro Fusion, 120 Hz) aufgezeichnet. Ergänzend wurden die Selbsteinschätzung der Antwortsicherheit und Aufgabenschwierigkeit abgefragt, sowie ein Test zum räumlichen Vorstellungsvermögen (Shah & Miyake, 1996) durchgeführt.

Ergebnisse

Die Proband:innen haben einen mittleren Score von 0.76 ± 0.03 . Die Itemschwierigkeit variierte zwischen 0.56 und 0.97. Die Blickdaten lassen unterschiedliche Vorgehensweisen der Proband:innen erkennen, die im Folgenden exemplarisch an den in *Abb. 1* dargestellten Beispielaufgaben für zwei charakteristisch agierende Proband:innen skizziert werden.

Die Aussagen betreffen das Verhalten der Kraft in Abhängigkeit jeweils einer anderen Variablen, wobei der jeweilige Zusammenhang in unterschiedlichen Formeln explizit dargestellt ist. Die normierte Gesamtfixationszeit auf Formel 1 und 2 unterscheidet sich jeweils signifikant ($p_{Bonf} < 0.001$) für die beiden Aufgaben, allerdings zeigt eine Analyse der Blickpfade, dass unterschiedliche aufgabenabhängige Vorgehensweisen diese Signifikanz bedingen. In *Abb. 2* sind die Aufmerksamkeitsverteilungen zweier Personen dargestellt. Beide haben die Aufgaben korrekt gelöst, unterscheiden sich aber bezüglich ihrer Leistungsindikatoren: Person 2 (rot) hat ein höheres räumliches Vorstellungsvermögen, war sich insgesamt sicherer in ihrem Antwortverhalten und beurteilte die Aufgabenschwierigkeit geringer.

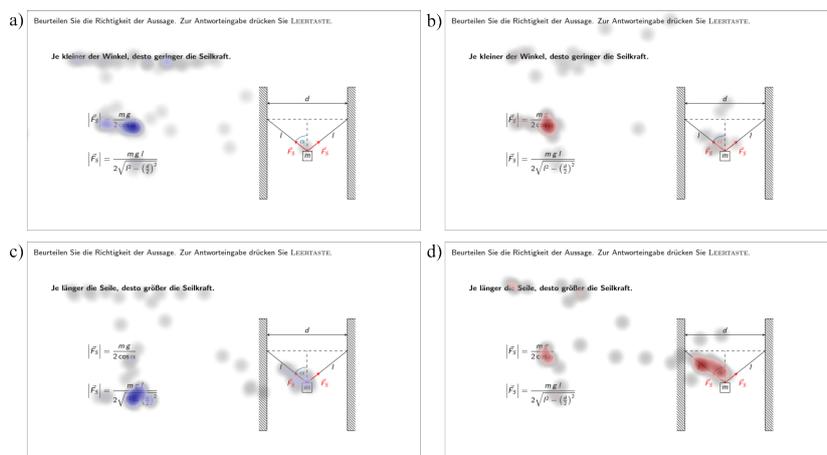


Abb. 2 Aufmerksamkeitsverteilung (Heat Map) für Beispielaufgabe 1 (a, b) bzw. 2 (c, d) für zwei Personen (blau/rot).

Während beide Personen ihre Aufmerksamkeit bei der ersten Aufgabe vorrangig auf Formel 1 richten, wobei hauptsächlich die im Text genannte Variable fixiert wird, unterscheiden sich die Heat Maps bei der zweiten Aufgabe deutlich. Während der Blick von Person 1 (blau) sich vorrangig auf die relevanten Variablen in Formel 2 richtet, fixiert Person 2 stärker die Skizze und Formel 1, welche die relevante Variable nicht explizit enthält. Person 2 nutzt die Skizze zur Übersetzung der relevanten Variablen, wodurch eine Beurteilung der Aufgabe durch mentale Manipulation der weniger komplexen Formel 1 möglich ist.

Diskussion & Ausblick

An einem konkreten physikalischen Kontext wurden unterschiedliche Präferenzen und Vorgehensweisen bezüglich der Verwendung piktorieller und formelhafter Repräsentationen bei der Bearbeitung von Aufgaben zum Kovariationsverhalten aufgezeigt. Individuelle Unterschiede sind hierbei, in Einklang mit anderen Studien (Wu & Liu, 2021), aufgabenabhängig und gehen nicht immer mit Performanzunterschieden einher. Im Mittel zeigte sich, dass Studierende mit einem höheren räumlichen Vorstellungsvermögen zu einer intensiveren Nutzung der Skizze tendierten. In weiteren Analysen wird neben dem globalen auch das lokale Blickverhalten (Hahn & Klein, 2022) aller Proband:innen untersucht und in Hinblick auf Unterschiede bzgl. Performanz und Personeneigenschaften analysiert. Weiterhin wird die Konstanz von Präferenz und Vorgehensweise über die 11 Aufgaben hinweg in Hinblick auf Lern- und Gewöhnungseffekte untersucht.

Literatur

- Andrá, C., Lindström, P., Arzarello, F., Holmqvist, K., Robutti, O., Sabena, C. (2015), Reading Mathematics Representations: An Eye-Tracking Study, *International Journal of Science and Mathematics Education* 13 (2).
- de Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* 8 (2).
- Hahn, L., Klein, P. (2022), Eye tracking in physics education research: A systematic literature review, *Physical Review Physics Education Research* 18 (1).
- van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of researchbased instructional strategies, *American Journal of Physics* 59.
- Kohl, P.B. & Finkelstein, N.D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* 1 (1).
- Meltzer, D.E. (2005). Relation between students' problem-solving performance and representational format, *American Journal of Physics* 73.
- Nieminen, P., Savinainen, A., & Viiri, J. (2010). Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* 6 (2).
- Rau, M., Aleven, V., & Rummel, N. (2009). Intelligent tutoring systems with multiple representations and self-explanation prompts support learning of fractions. In V. Dimitrova, R. Mizoguchi, B. du Boulay, & A. Graesser (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education, 2009 Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling*. Amsterdam: IOS Press, 441-448
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(1).
- Susac, A., Planinic, M, Bubic, A, Jelcic, K., & Palmovic, M. (2023). Effect of representation format on conceptual question performance and eye-tracking measures. *Physical Review Physics Education Research* 19 (2).
- Wu, C.-J. & Liu, C.-Y. (2021). Eye-movement study of high- and low-prior-knowledge students' scientific argumentations with multiple representations. *Physical Review Physics Education Research* 17 (1).